

## بهبود عملکرد موتور دیزل با کمک نانوذرات جامد به عنوان افزودنی به سوخت

عباس تقی پور<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: تابستان ۹۸ پذیرش: پائیز ۹۸

### چکیده

موتورهای دیزل یکی از اصلی ترین مصرف کننده های سوخت فسیلی محسوب می شوند و از عوامل مهم تولید آلودگی های صوتی و زیست محیطی به شمار می روند. دستیابی به سوخت های جایگزین و استفاده از افزودنی های مناسب جهت کاهش آلودگی هدفی است که اکثر پژوهشگران به دنبال آن می باشند. بیودیزل یکی از سوخت های زیستی است که تجدیدپذیر است و می تواند به عنوان سوخت جایگزین در موتورهای دیزل استفاده شود. نانوذرات جامد نیز به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی در مولکولهای ماده انرژی را بالایی را ایجاد می کنند. در این پژوهش اثر سوخت بیودیزل و نانوذره ی اکسیدسیریم در ترکیب با سوخت دیزل بر عملکرد و آلاینده های موتور دیزل تک سیلندر بررسی و با سوخت دیزل پایه مقایسه شد. در فاز اول آزمایش ها، به منظور پایداری ترکیب های سوخت آزمایش های متعددی انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از حمام آلتراسونیک می تواند مفید باشد. در فاز دوم، آزمایش های مربوطه بر روی موتور دیزل تک سیلندر چهارزمانه انجام شد. داده های مورد نظر در سرعت های مختلف (۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۴۰۰ و ۲۶۰۰ rpm) برای مخلوط های مختلف سوخت شامل بیودیزل در ۳ سطح (B0, B5, B20) و ذرات نانو نیز در ۳ سطح (۱۵.۵ و ۲۵ ppm) به دست آمد. نتایج نشان داد حضور سوخت اکسیژن دار بیودیزل و افزودن نانو ذرات به سوخت، انتقال حرارت به سوخت را افزایش داده و با تسریع سوختن، زمان تأخیر در اشتعال را کاهش می دهد. همچنین نانو ذرات، مکانسیم اشتعالی سوخت را بهبود بخشیده و سبب نفوذ بهتر جت سوخت به داخل هوای فشرده می گردد که باعث احتراق کامل تر و بهبود عملکرد موتور گردید.

\*عهده دار مکاتبات: taghipoor@iaud.ac.ir

**کلمات کلیدی:** اکسید سیریم، موتور اشتعال تراکمی، سوخت های زیستی، پارامترهای عملکردی، آلاینده های موتور.

### ۱- مقدمه

نفتی جهان و افزایش تقاضای مصرف کنندگان، پیش بینی می شود این ذخایر در چند دهه ی آینده به اتمام برسند. کاهش روزافزون منابع فسیلی و وجود آلاینده های زیست محیطی مرتبط با این سوخت ها، اهمیت و لزوم توجه به آن ها را بیش از پیش مشخص می نماید. مهم ترین خاصیت سوخت های گیاهی تجدیدپذیری و زیست دوستی آن ها می باشد که نگرانی ناشی از اتمام آن ها نیز وجود ندارد. هر کشوری با توجه به فراوانی محصول گیاهی در آن کشور می تواند اقدام به تولید سوخت از آن محصول نموده و بدین ترتیب بخشی از نیاز سوختی خود و یا کل آن را برطرف نماید. نانو تکنولوژی به معنی انجام مهندسی مواد در ابعاد اتمی - مولکولی و ساخت موادی با خواص کاملاً متفاوت در ابعاد نانو است. خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ماده تبدیل شده به ابعاد نانو نسبت به خواص آن در ابعاد ماکروبی کاملاً متفاوت است. نانو در مولکول های ماده انرژی بالایی را ایجاد می کند. سوخت نانو بیودیزل سوختی است که از ترکیب مکمل های ذرات نانو با سوخت های بیودیزل به نسبت های مختلف و مناسب به دست می آید و قابلیت احتراق و استفاده در موتورهای دیزلی را دارد [1].

اسکریبانو و همکارانش در سال ۲۰۰۸ طی پژوهش هایی دریافتند اضافه کردن سیریم به سوخت دیزل باعث کاهش قابل توجه در مقدار، وزن، اندازه

افزایش هشدارهای ناشی از اثرات زیان بار آلودگی هوا باعث به وجود آمدن اجبار در اجرای قوانین مبارزه با آلودگی هوا گردیده است. این امر باعث تشویق بسیاری از محققان برای بررسی راه های ممکن در استفاده از سوخت های جایگزین به جای نفت و مشتقات آن شده است. در بین سوخت های تجدیدپذیر، سوخت های به دست آمده از زیست توده مواد کشاورزی مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته است. تجدیدپذیری، انتشار آلاینده های کمتر و مزایای اقتصادی در مقایسه با سوخت های فسیلی، از جمله فواید این سوخت ها به شمار می رود. از میان موادی که به این منظور مورد استفاده قرار می گیرند، انواع الکل، بیودیزل و اتر از توانایی بالایی در کاهش آلاینده های آگزوز برخوردار هستند. بیودیزل که از روغن های گیاهی یا چربی های حیوانی تولید می شوند، زیست دوست هستند و می توانند به صورت خالص یا مخلوط با سوخت های فسیلی در سامانه های حمل و نقل، گرمایش منازل، ساختمان ها و کارخانجات و همچنین در فرآیندهای صنعتی به کار روند. موضوع استفاده از سوخت های جایگزین در انواع موتورها، همراه با پیشرفت فن آوری مورد بحث بوده و به سرعت رو به گسترش است. با برداشت روز افزون از ذخایر

سوخت B20 به همراه  $30 \text{ mg/l}$  آلومینا به اختلاط ترکیب در مرحله پیش احتراق کمک می‌کند که این موضوع سبب احتراق کامل می‌شود. برای سوخت B20 در مقایسه با سوخت دیزل آلایندگی HC و CO کاهش و  $\text{NO}_x$  کمی افزایش یافت. کاربرد افزودنی نانوی آلومینا نه تنها سبب بهبود عملکرد مکانیکی موتور دیزل می‌شود، همچنین سبب کاهش میزان آلایندگی هیدروکربن‌های نسوخته (UBHC) و CO در گازهای خروجی آگرو می‌شود. علت آن تأثیر نانو ذرات به‌عنوان یک کاتالیست در فرآیند احتراق است به‌خصوص در مقایسه با ترکیب بیودیزل - دیزل [5]. ساتیا موری و همکاران در سال ۲۰۱۶ تأثیر نانو ذره اکسید سرب به‌عنوان ماده افزودنی را بر روی عملکرد و آلایندگی موتور دیزل با استفاده از ترکیب سوخت بیودیزل و دیزل بررسی کردند. ترکیب سوخت شامل  $20\%$  بیودیزل و  $80\%$  دیزل بود. موتور مورد آزمایش نیز تک سیلندر، تزریق مستقیم و هوا خنک بود. نتایج آزمایش نشان داد مصرف سوخت ویژه و بازده حرارتی ترمزی با اضافه نمودن نانو ذرات در مقایسه با سوخت دیزل خالص افزایش داشت. اما میزان آلایندگی  $\text{NO}_x$ ، HC و CO به‌طور قابل توجهی در مقایسه با سوخت دیزل خالص کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که فشار سیلندر و میزان حرارت آزاد شده در ترکیب‌های سوخت حاوی نانو زیاد می‌شود [6].

## ۲- مواد و روشها

در این پژوهش تأثیر تلفیق سوخت دیزل، بیودیزل و ذرات نانو اکسید سرب بر روی میزان توان، گشتاور، مصرف سوخت ویژه و میزان آلایندگی‌های موتور نسبت به سوخت پایه (دیزل خالص) بررسی شد. بدین منظور داده‌های مذکور مربوط به موتور تک سیلندر چهارزمانه CT159 با استفاده از ترکیبات مخلوط سوخت مورد نظر اندازه‌گیری شد. مشخصات موتور فوق در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: مشخصات فنی موتور CT159

مدل	Hatz 1B20-6
کارخانه سازنده	شرکت هاتز آلمان
تعداد سیلندر	۱
کورس سیلندر	۶۲ mm
قطر سیلندر	۶۹mm
توان خروجی	approx. 1.5 kW
نسبت تراکم	21: 1
نوع سیستم خنک کاری	هوا خنک
نوع سیستم سوخت‌رسانی	تزریق مستقیم

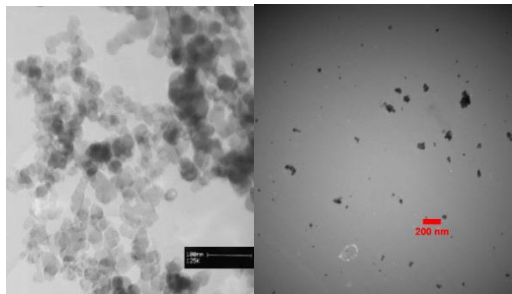
این پژوهش از بخش‌های ذیل تشکیل شده است:

### ۱- مرحله‌ی پیش از داده‌گیری:

این مرحله، شامل بررسی پیشینه تحقیق، ترکیب سوخت دیزل، بیودیزل و ذرات نانو اکسید سرب با توجه به درصدهای در نظر گرفته شده و طرح‌ریزی مطلوب برای اندازه‌گیری داده‌ها در آزمایش‌ها می‌باشد. از مخلوط‌های مختلف سوخت در ۱۰ سطح که شامل سوخت دیزل خالص، بیودیزل در ۳ سطح (B0, B5, B20) و ذرات نانو نیز در ۳ سطح ( $15.5$  و  $25$  ppm) در ۴ سرعت دورانی موتور (۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۴۰۰ و  $2600 \text{ rpm}$ ) استفاده گردید. گازوییل مورد استفاده در این آزمون، گازوییل

و درجه حرارت آلایندگی‌های انتشار یافته از موتور دیزل می‌شود و اکسیداسیون را نیز به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد [2]. کارتیکیان و همکاران در سال ۲۰۱۴ اثر نانو ذره جامد اکسید آلومینیوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) به‌عنوان ماده افزودنی به همراه ترکیب سوخت بیودیزل (Gsome متیل استرئانگور) را بر روی عملکرد موتور اشتعال تراکمی بررسی کردند. بیودیزل از روغن هسته انگور به روش ترانس استریفیکاسیون تهیه شده بود. ترکیب‌های سوخت (D80B20) شامل  $80\%$  سوخت دیزل و  $20\%$  بیودیزل، ترکیب سوخت  $\text{D80B20Al}_2\text{O}_350$  شامل  $(80\%$  سوخت دیزل +  $20\%$  بیودیزل +  $50 \text{ ppm}$  نانو ذرات اکسید آلومینیوم) بود. موتور مورد آزمایش تک سیلندر، چهارزمانه، هوا خنک به روش تزریق مستقیم بود. آزمایش تحت بارهای مختلف در سرعت ثابت  $1500 \text{ rpm}$  انجام شد. نتایج آزمایش تفاوت معنی‌داری در میزان چگالی، ویسکوزیته سینماتیک، نقطه ریزش و عدد ستان در نتیجه اضافه کردن اکسید آلومینیوم در ترکیب نداشت. اکسید آلومینیوم در ترکیب سبب بهبود نقطه اشتعال در مقایسه با ترکیب D80B20 شد. ارزش حرارتی ترکیب سوخت با اکسید آلومینیوم نسبت به ترکیب سوخت D80B20 بالاتر بود. مقدار حرارت آزاد شده، فشار گاز و مصرف سوخت ویژه ترمزی برای ترکیب‌های سوخت حاوی نانو ذرات جامد با افزایش میزان نانو کمتر شد. نتایج نشان دادند که دمای گاز خروجی ترکیبات حاوی نانو ذره نسبت به سوخت پایه پایین‌تر است. با افزایش میزان نانو آلایندگی‌های CO و HC به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد. آلایندگی  $\text{NO}_x$  و تیرگی دود در ترکیب‌های سوخت به همراه نانو ذره حداقل مقدار را داشت [3]. کارتیکیان و همکاران در سال ۲۰۱۶ تأثیر نانو ذره جامد اکسید سرب ( $\text{CeO}_2$ ) بر روی پارامترهای عملکردی موتور و کاهش آلایندگی‌های آن را در یک موتور اشتعال تراکمی بررسی کردند. در این پژوهش از موتور تک سیلندر، چهارزمانه، هوا خنک از نوع تزریق مستقیم استفاده شد. ترکیبات سوخت شامل B20 و  $\text{CeO}_2$  بود. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش میزان نانو ذره  $\text{CeO}_2$  در ترکیب‌های سوخت ارزش حرارتی و نقطه اشتعال افزایش یافت. دمای گاز خروجی برای ترکیبات سوخت حاوی نانو ذره کمتر از سوخت B20 بود و بهبود قابل توجهی در بازده حرارتی ترمزی ترکیبات حاوی نانو ذره در مقایسه با سوخت B20 حاصل شد. مصرف سوخت ویژه ترمزی برای ترکیبات حاوی نانو ذره در شرایط بار کامل در مقایسه با سوخت B20 کمتر بود و در مقایسه با سوخت B20، آلایندگی‌های نظیر HC، CO، تیرگی دود و آلایندگی  $\text{NO}_x$  در ترکیبات حاوی نانو ذره  $\text{CeO}_2$  کاهش یافت [4]. رامش و همکاران در سال ۲۰۱۶ تأثیر نانو ذره آلومینا را به‌عنوان یک ماده افزودنی به همراه سوخت بیودیزل بر روی پارامترهای عملکردی، احتراق و آلایندگی‌های موتور دیزل بررسی نمودند. بیودیزل مورد استفاده در این پژوهش از ضایعات و پسماند مرغ به روش ترانس استریفیکاسیون تهیه شده بود. ترکیب سوخت شامل B20 به همراه  $30 \text{ mg/l}$  آلومینا و سوخت پایه دیزل خالص و موتور مورد استفاده تک سیلندر چهارزمانه بود. نتایج این پژوهش نشان داد ترکیب‌های سوخت B20 حاوی نانو ذره آلومینا و بدون نانو ذره نسبت به سوخت دیزل خالص در شرایط بار کامل افزایش بازده حرارتی ترمزی را به همراه داشت. فشار سیلندر برای همه ترکیب‌های سوخت مشابه بود و تغییرات معنی‌داری نداشت. در شرایط بار کامل تغییرات میزان گرمای آزاد شده تقریباً برای تمام ترکیب‌های سوخت یکسان بود. مقدار اکسیژن موجود در ترکیب

B5D95	۲۵
B20D80	۵
B20D80	۱۵
B20D80	۲۵



شکل ۱: تصویر TEM نانوذره‌ی اکسید سربیم

لازم به ذکر است پس از تهیه‌ی ترکیب سوخت، به‌منظور همگن شدن ترکیب سوخت و نانو ذرات جامد، مخلوط سوخت به مدت ۲۰ دقیقه درون حمام آلتراسونیک قرار داده شد.

۲- داده گیری:

به‌منظور بررسی تأثیر ترکیب‌های مختلف سوخت دیزل، نانوذره‌ی اکسیدسربیم و بیودیزل بر عملکرد و آلاینده‌های موتور دیزل کوچک از مجموعه آزمایشی CT159 ساخت کشور آلمان استفاده شد. مجموعه‌ی آزمایشی از سه بخش اصلی شامل CT159 برای نصب موتور دیزل تک سیلندر چهارزمانه (CT151) و واحد کنترل، دینامومتر به‌منظور کنترل سرعت موتور (HM365) و یک سیستم کامپیوتر جهت ثبت و ذخیره‌ی داده‌های اندازه‌گیری شده تشکیل شده است. شماتیکی از تجهیزات استفاده‌شده در این پژوهش در شکل (۲) و مجموعه CT159 در شکل (۳) نشان داده شده است. متغیرهای مستقل در این پژوهش شامل مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل (%۲۰-۵-۰) و ذرات نانو (۲۵)PPm-۱۵) و پارامتر سرعت موتور (۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۴۰۰ و ۲۶۰۰rpm) بود. پس از تنظیم مقادیر موردنظر پارامترهای مستقل (ورودی‌ها) از قبیل سرعت موتور و مخلوط‌های مختلف دیزل، بیودیزل و ذرات نانو روی موتور موردنظر آزمایش گردید و تأثیر این متغیرهای مستقل بر روی متغیرهای وابسته، یعنی میزان گشتاور موتور، توان موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی و آلاینده‌های موتور بررسی شد. برای اعمال بار به موتور از دینامومتر مدل HM365 ساخت شرکت گونت آلمان استفاده شد. سوخت‌های تهیه‌شده در مخزن مربوط به دستگاه ریخته شد و برای هر آزمایش موتور به مدت ۵ دقیقه در دور آرام کار کرد. همچنین قبل از انجام هر آزمایش سیستم سوخت‌رسانی و فیلترها تمیز و هواگیری شد. برای اعمال بار به موتور توسط دینامومتر، موتور زیر بار قرار گرفت. سپس با استفاده از پیچ تنظیم دور موتور تغییر داده شد. تنظیم دور موتور با دقت  $\pm 5\text{rpm}$  انجام شد. مجموعه از طریق کابل رابط به سیستم کامپیوتر متصل شد و توسط نرم‌افزار مربوطه کلیه‌ی اطلاعات پس از پایدار شدن دور موتور ثبت شد. برای اندازه‌گیری آلاینده‌های خروجی موتور نیز از دستگاه آلاینده سنج پنج گاز ساخت شرکت Motor Scan ایتالیا استفاده شد (شکل ۴). کلیه آزمایش‌ها در تمام حالات با سه تکرار انجام گرفت.

معمول (شماره ۲) و بیودیزل مورد استفاده از روغن پسماند به روش ترانس استریفیکاسیون تهیه شد که برخی از خواص مهم آن از قبیل گرانروی سینماتیک، نقطه‌ی اشتعال، نقطه‌ی ابری شدن، نقطه‌ی ریزش، مقدار آب و رسوبات، مقدار گلیسیرین آزاد، و خوردگی مس اندازه‌گیری شده و نتایج آن مطابق با استاندارد ASTM D-6751 مطابقت داده شده است. در جدول (۲) برخی از خصوصیات مهم بیودیزل به همراه شماره‌ی استاندارد و حدود مجاز نشان داده شده است. نانو ذره انتخابی در این پژوهش نانوذره‌ی اکسید سربیم به‌صورت ذرات کروی با خلوص ۹۹/۹۷٪ بود. مشخصات فنی نانوذره‌ی اکسید سربیم در جدول (۳) ذکر شده است. شکل ۱ نیز تصویر TEM نانوذره‌ی اکسید سربیم مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد که دارای قطر میانگین ۳۰-۱۰ نانومتر می‌باشد. ترکیبات سوخت دیزل با بیودیزل به‌صورت حجمی و با نسبت‌های ارائه‌شده مطابق با جدول (۴) می‌باشد.

جدول ۲: برخی از خصوصیات مهم بیودیزل به همراه شماره‌ی استاندارد و حدود

مجاز آن [7]

خصوصیت	شماره استاندارد	حدود مجاز	واحد
نقطه اشتعال	D-93	کمترین ۱۳۰	$^{\circ}\text{C}$
آب و رسوبات	D-2709	بیشترین ۰/۰۵	VOLUM %/E
گرانروی سینماتیک $40^{\circ}\text{C}$	D-445	۱/۹-۶	$\text{mm}^2/\text{s}$
خاکستر سولفات	D-874	بیشترین ۰/۰۲	Wt.%
گوگرد	D-5453	بیشترین ۰/۰۵	Wt.%
خوردگی مس	D-130	بیشترین شماره ۳	-----
عدد ستان	D-613	کمترین ۴۷	-----
نقطه ابری شدن	D-97	تعیین نشده	$^{\circ}\text{C}$
عدد اسید	D-664	بیشترین ۰/۸	Mg
گلیسیرین آزاد	D-6584	۰/۰۲	KOH/g
فسفر	D-4951	۰/۰۰۱	Wt.%

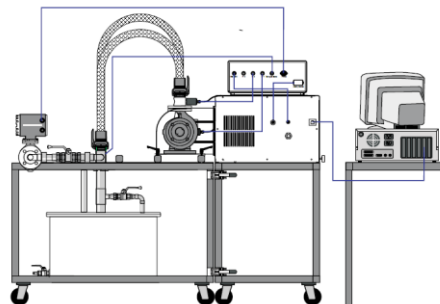
جدول ۳: مشخصات فنی نانوذره‌ی اکسید آهن [8]

مشخصات فنی	اکسید سربیم ( $\text{CeO}_2$ )
اندازه قطر (نانومتر)	۱۰-۳۰
سطح ویژه ( $\text{m}^2/\text{gr}$ )	۳۰-۵۰
شکل هندسی پودر	کروی
رنگ	زرد روشن
چگالی ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	۰/۸-۱/۱

جدول ۴: ترکیبات سوخت دیزل و بیودیزل

ترکیب سوخت	درصد ذرات نانو (ppm)
B0D100	۵
B0D100	۱۵
B0D100	۲۵
B5D95	۵
B5D95	۱۵

آزمایش‌ها در حالت ایستگاهی بر روی موتور انتخاب شده و با اعمال تیمارهای مختلف بر روی موتور تک سیلندر چهارزمانه CT159 صورت گرفت.



شکل ۲: شماتیکی از تجهیزات استفاده شده در پژوهش

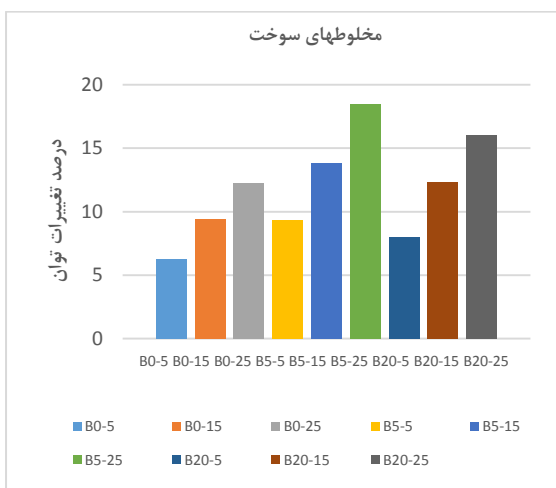


شکل ۳: مجموعه مورد نظر شامل موتور و دینامومتر

تأثیر ترکیب‌های مختلف سوخت دیزل، بیودیزل و نانو ذرات جامد بر میزان گشتاور، توان، مصرف سوخت ویژه و آلاینده‌های موتور تک سیلندر چهارزمانه CT159، بررسی شد. بدین منظور هر نمونه‌ی سوخت مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصل نسبت به سوخت دیزل پایه مقایسه شد.

### ۳-۱ مقایسه توان و گشتاور ترکیب‌های سوخت نسبت به سوخت دیزل پایه

شکل‌های ۵ و ۶ درصد میزان تغییرات توان و گشتاور در هر یک از ترکیبات را نسبت به سوخت دیزل نشان می‌دهد. در تمامی ترکیبات مقدار توان حاصل نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش داشت. در تمامی ترکیبات با کاهش دور و افزایش بار موتور مقدار توان حاصل نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش داشته است. در حالت کلی تا محدوده‌ی سرعت ۲۴۰۰ rpm توان مخلوط‌ها به تدریج افزایش یافت و در محدوده‌ی ۲۴۰۰ تا ۲۶۰۰ rpm توان مخلوط‌ها کاهش یا در برخی ترکیبات افزایش جزئی داشت. در مورد گشتاور نیز همین رفتار وجود دارد. با افزایش سرعت موتور در تمامی سوخت‌ها گشتاور به تدریج کاهش یافت. در این محدوده‌های سرعت، مخلوط B5D95-25 دارای بیشترین مقدار سوخت B0D100 کمترین مقدار است. با افزایش بیشتر سرعت تقریباً در تمامی مخلوط‌ها، گشتاور ثابت می‌ماند. علت تغییرات گشتاور موتور به طور عمده در اثر خوب پرشدن سیلندر در مرحله‌ی تنفس است. در سرعت‌های خیلی بالا زمان تنفس کمتر بوده و در نتیجه سیلندر به خوبی پر نمی‌شود. متعاقب آن، فشار تراکم و فشار احتراق کمتر شده و نیروهای اینرسی بخش‌های متحرک موتور افزایش یافته و در نهایت گشتاور واقعی موتور کاهش می‌یابد.



شکل ۵: درصد تغییرات توان موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل - دیزل و ذرات نانو نسبت به سوخت دیزل خالص



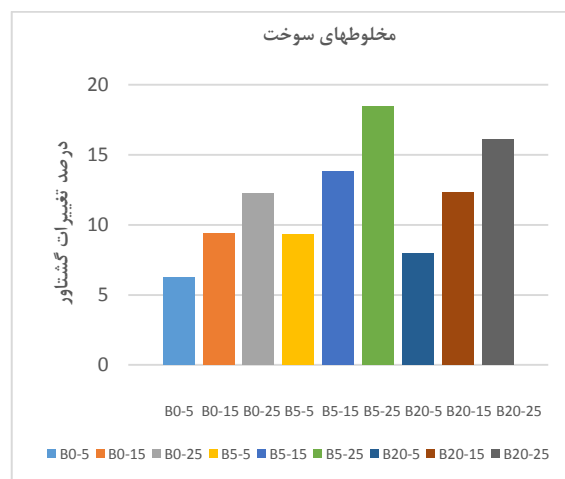
شکل ۴: دستگاه اندازه‌گیری آلاینده‌های موتور

برای ترسیم نمودارهای عملکرد، نرم افزار EXCEL به کار برده شد. در پایان مقادیر افزایش/ کاهش توان، گشتاور، مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه نسبت به سوخت دیزل خالص به صورت درصد محاسبه - گردید و نمودارهای هیستوگرام با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم و تحلیل بر روی این نمودارها صورت گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- هیدروکربن‌های نسوخته (HC)

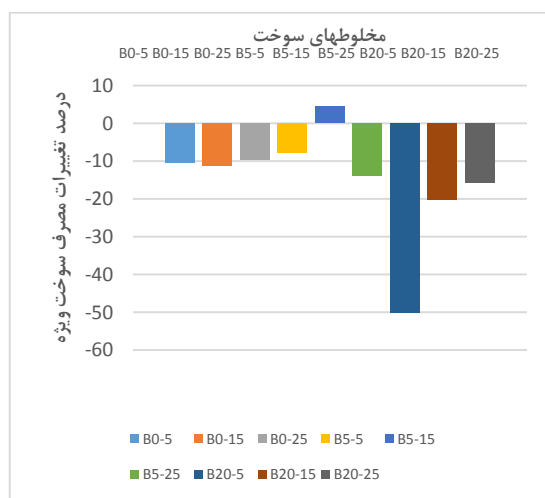
تولید آلاینده‌های هیدروکربن به دلیل احتراق ناقص است. به طور کلی این آلاینده‌ها به طراحی موتور، ساختار سوخت، دمای احتراق و اکسیژن موجود در سوخت بستگی دارد. هنگامیکه آلاینده‌های هیدروکربنی وارد اتمسفر می‌شوند، بدبو و آزاردهنده هستند، برخی از آنها سرطان‌زا می‌باشند. از جمله دلایل ایجاد آلاینده‌های HC می‌توان به نسبت هوا به سوخت غیر استوکیومتریک اشاره نمود. مقدار آلاینده‌ی HC به شدت تابع نسبت هوا به سوخت (AF) است. در یک مخلوط با سوخت غنی، اکسیژن کافی برای واکنش با تمام کربن وجود ندارد که منجر به مقادیر زیاد HC و CO در محصولات خروجی می‌گردد. این موضوع به‌ویژه در هنگام راه‌اندازی موتور که مخلوط هوا و سوخت، عمداً بسیار غنی می‌شود، صدق می‌کند. این موضوع به میزان کمتری در طی شتاب گرفتن سریع تحت بار نیز صادق است. اگر AF خیلی فقیر باشد، احتراق ضعیف‌تری رخ می‌دهد که مجدداً منجر به ایجاد آلاینده‌های HC می‌گردد. در این پژوهش در اکثر ترکیب‌ها میزان هیدروکربن خروجی از آگروز نسبت به سوخت دیزل کاهش یافت. این موضوع می‌تواند به دلیل اکسیژن دار بودن سوخت بیودیزل و همچنین ذرات نانو اکسید سیریم (CeO<sub>2</sub>) باشد. البته در مواردی علیرغم وجود اکسیژن کافی میزان HC نسبت به سوخت دیزل بیشتر شده است. علت آن می‌تواند به این دلیل باشد که در برخی مواضع در محفظه‌ی احتراق، مخلوط به‌قدری فقیر است که به‌طور مناسب نمی‌سوزد و در سایر نواحی به‌قدری غنی است که اکسیژن کافی برای مصرف تمام سوخت وجود ندارد. با اختلاط کمتر از مقدار معمول یا بیش از مقدار معمول سوخت و هوا، احتراق کامل رخ نمی‌دهد. مخلوط هوا و سوخت در موتور CI، بسیار غیر همگن می‌باشد و بعلاوه سوخت در طی احتراق، هنوز در حال پاشیدن است. بنابر این در مواضع مختلف محفظه‌ی احتراق، نواحی بسیار غنی تا بسیار فقیر وجود دارند و جبهه‌های شعله بسیاری در یک زمان وجود خواهد داشت. در اختلاط کمتر از مقدار معمول، برخی ذرات سوخت در نواحی با سوخت غنی، هرگز اکسیژنی برای واکنش پیدا نمی‌کنند. در نواحی با سوخت فقیر، احتراق محدود می‌شود و مقداری از سوخت به‌علت رقیق‌بودن زیاد مخلوط نمی‌سوزد. در اختلاط بیش از مقدار معمول، برخی ذرات سوخت با گازی که قبلاً نسوخته است، مخلوط می‌شود و بنابراین به‌صورت کامل نخواهد سوخت. عامل دیگر ممکن است مربوط به نازل سوخت‌پاش باشد، نازل‌ها باید به نحوی ساخته شوند که هنگام توقف پاشش سوخت، از نازل چکه نکنند. هرچند مقدار کمی از سوخت مایع نیز در نوک نازل محبوس خواهد شد (حجم حفره‌ای) و اندازه‌ی آن به طراحی نازل بستگی دارد. با بسته شدن نازل، دیگر فشاری برای راندن آن به داخل سیلندر وجود ندارد، این حجم سوخت به آرامی تبخیر می‌شود. مقداری از این سوخت تبخیر نمی‌شود مگر آنکه احتراق متوقف گردد، این موضوع باعث ورود ذرات HC بیشتری در گازهای خروجی می‌شود. شکل ۸ میزان تغییرات هیدروکربن‌های نسوخته موتور را در هر یک از ترکیبات نسبت به سوخت دیزل خالص نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص است تقریباً در تمامی ترکیبات میزان HC تولیدی نسبت به سوخت دیزل خالص کمتر است. در بین این ترکیبات مخلوط سوخت B5D95-25 بیشترین کاهش و مخلوط سوخت B20D80-5 کمترین کاهش را نسبت به سوخت دیزل



شکل ۶: درصد تغییرات گشتاور موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

### ۳-۲- مقایسه مصرف سوخت ویژه ترکیب‌های سوخت نسبت به سوخت دیزل پایه

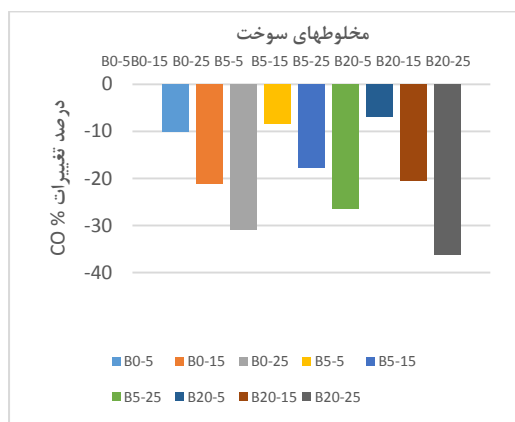
شکل ۷ میزان تغییرات مصرف سوخت ویژه موتور را در هر یک از ترکیبات نسبت به سوخت دیزل خالص نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که ترکیب B20D80-5 بیشترین کاهش مصرف سوخت ویژه موتور را نسبت به سایر ترکیبات دارا می‌باشد. ترکیب B5D95-15 نیز کمترین کاهش مصرف سوخت ویژه را دارا می‌باشد. در مجموع نتیجه گرفته می‌شود که ترکیب B5D95-25 نسبت‌آدارای بیشترین مقدار افزایش توان و گشتاور بود در حالی که افزایش مصرف سوخت ویژه‌ی آن در حدود ۱/۴ درصد نسبت به سوخت دیزل خالص می‌باشد. در درصدهای بالاتر بیودیزل و ذرات نانو، ترکیب B20D80-5 به دلیل دارا بودن مصرف سوخت ویژه پایین و توان و گشتاور نسبتاً خوب، مناسب می‌باشد.



شکل ۷: درصد تغییرات مصرف سوخت ویژه موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

### ۳-۳- ارزیابی آلاینده‌های موتور

سوخت B20D80-25 بیشترین کاهش و مخلوط سوخت B20D80-5 کمترین کاهش را نسبت به سوخت دیزل خالص داشته است.

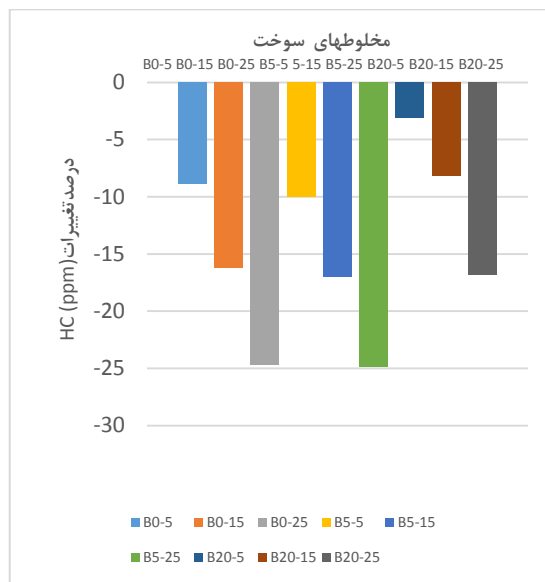


شکل ۹: درصد تغییرات منواکسیدکربن موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

### ۳-۳-۳ اکسیدهای نیتروژن (NOx)

بخشی از گازهای خروجی موتور، اکسیدهای نیتروژن می‌باشد. بیشتر این مقدار، شامل اکسیدنیتروژن (NO) به همراه مقدار کمی دی‌اکسیدنیتروژن (NO<sub>2</sub>) و مقادیر جزئی دیگری از سایر ترکیبات نیتروژن و اکسیژن می‌باشند. تمامی ترکیبات اکسیدهای نیتروژن، باهم به صورت NOx گروه بندی می‌شوند که در آن x نشان‌دهنده‌ی عدد مناسبی است. NOx آلاینده‌ی بسیار نامطلوبی می‌باشد. برای شکل‌گیری NO، امکان چند واکنش وجود دارد که احتمالاً تمام آنها در طی فرآیند احتراق و بلافاصله بعد از آن رخ می‌دهند. به دلیل آبی نبودن واکنش‌های شیمیایی، تشکیل NOx علاوه بر دما به فشار، نسبت هوا به سوخت و زمان احتراق در داخل سیلندر بستگی دارد. مقدار NOx تولید شده، به موضع داخل محفظه‌ی احتراق نیز بستگی دارد. در موتورهای اشتعال تراکمی با محفظه‌های احتراق تقسیم‌شده و پاشش غیرمستقیم سوخت، عموماً دارای نسبت‌های تراکم بزرگتر و دماها و فشارهای بیشتری هستند، تمایل به تولید مقادیر بیشتر NOx در این موتورها وجود دارد. با توجه به شکل (۱۰) مقدار اکسیدهای نیتروژن تولیدی توسط مخلوط‌های سوخت نسبت به سوخت دیزل افزایش یافته است. نتایج نشان داد مخلوط سوخت B20D80-25 نسبت به سایر ترکیبات افزایش بیشتری (۲۲/۷٪) در تولید اکسیدهای نیتروژن در مقایسه با سوخت دیزل خالص دارد. کمترین افزایش نیز مربوط به مخلوط سوخت B0D100-5 می‌باشد. دلیل افزایش NOx اکسیژن موجود در مخلوط‌های سوخت می‌باشد که هم سبب واکنش با نیتروژن و هم باعث افزایش دمای احتراق می‌شود که زمینه را برای تولید NOx فراهم می‌کند.

خالص داشته است. همان‌گونه که ذکر شد علت این موضوع اکسیژن دار بودن ترکیب سوخت می‌باشد که سبب می‌شود اکسیژن بیشتری در محفظه‌ی احتراق وجود داشته باشد تا احتراق کامل‌تری صورت پذیرد.



شکل ۸: درصد تغییرات هیدروکربن‌های نسوخته موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

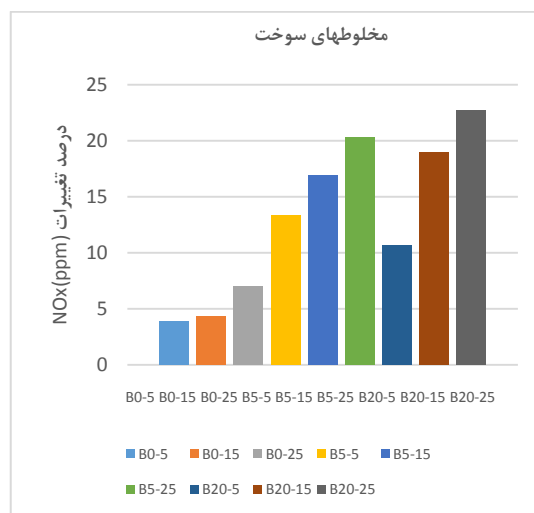
### ۳-۳-۲ منواکسیدکربن (CO)

منواکسیدکربن گازی بی‌رنگ، بی‌بو و سمی است. این گاز هنگامی در موتور تولید می‌شود که موتور با نسبت هم‌ارزی سوخت غنی کار کند، هنگامی که اکسیژن کافی برای تبدیل تمام کربن به CO<sub>2</sub> وجود نداشته باشد، مقداری از سوخت نمی‌سوزد و مقداری کربن به صورت CO باقی می‌ماند. CO نه تنها به‌عنوان آلاینده‌ای نامطلوب در نظر گرفته می‌شود، بلکه باعث اتلاف انرژی شیمیایی، که نمی‌تواند به صورت کامل در موتور به کار گرفته شود، نیز می‌گردد. بیشترین مقدار CO هنگامی تولید می‌شود که موتور با مخلوط غنی کار کند و مواردی شامل راه‌اندازی موتور، یا شتاب گرفتن تحت بار را شامل می‌گردد. اختلاط ضعیف، نواحی محلی غنی و احتراق ناقص، مقداری CO ایجاد خواهد کرد. میزان CO براساس درصد حجمی (V%) و به وسیله‌ی دستگاه سنجش آلاینده‌ها اندازه‌گیری گردید. همان‌گونه که در شکل (۹) مشاهده می‌گردد، مقدار منواکسید کربن تولیدی توسط مخلوط‌های سوخت دیزل-بیودیزل و ذرات نانو نسبت به سوخت دیزل خالص کاهش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش درصد بیودیزل و همچنین میزان ذرات نانو در مخلوط سوخت میزان کاهش CO نیز افزایش می‌یابد. دلیل کاهش CO، اکسیژن دار بودن سوخت بیودیزل و ذرات نانو (CeO<sub>2</sub>) می‌باشد. اکسیژن دار بودن مخلوط سوخت موجب می‌شود اکسیژن بیشتری در محفظه‌ی احتراق حضور داشته و در نتیجه احتراق کامل‌تری صورت بگیرد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص است تقریباً در تمامی ترکیبات میزان CO تولیدی نسبت به سوخت دیزل خالص کمتر است. در بین این ترکیبات مخلوط

اکسیژن در محفظه احتراق، احتراق به طور کامل تر صورت گرفت و توان تولیدی و گشتاور افزایش یافت. با افزایش بیشتر سرعت تقریباً در تمامی مخلوطها، گشتاور کاهش و ثابت می ماند. علت تغییرات گشتاور موتور به طور عمده در اثر خوب پر شدن سیلندر در مرحله ی تنفس است. در سرعت های خیلی بالا زمان تنفس کمتر بوده و در نتیجه سیلندر به خوبی پر نمی شود. متعاقب آن، فشار تراکم و فشار احتراق کمتر شده و نیروهای اینرسی بخش های متحرک موتور افزایش یافته و در نهایت گشتاور واقعی موتور کاهش می یابد. با افزایش میزان بیودیزل و نانوذره در مخلوط های سوخت، مصرف سوخت ویژه کاهش یافت. علت این موضوع را می توان به حضور کاتالیست نانوذره آهن در کنار سوخت بیودیزل ربط داد که می تواند احتراق کامل و خوبی را به همراه داشته باشد. با افزایش میزان نانو و سوخت بیودیزل در ترکیب به علت افزایش اکسیژن در محفظه احتراق، احتراق به طور کامل تر صورت می گیرد و میزان منوکسیدکربن و هیدروکربن های نسوخته کاهش یافت. مقدار اکسیدهای نیتروژن تولیدی توسط مخلوط های سوخت نسبت به سوخت دیزل افزایش یافت. دلیل افزایش NOx اکسیژن موجود در مخلوط های سوخت می باشد که هم سبب واکنش با نیتروژن و هم باعث افزایش دمای احتراق می شود که زمینه را برای تولید NOx فراهم می کند. اکسیژن دار بودن مخلوطها نسبت به سوخت دیزل خالص سبب می شود احتراق کامل تری صورت گرفته و در نتیجه مقدار بیشتری از منواکسید کربن که حاصل از احتراق ناقص موتور است، به دی اکسیدکربن تبدیل شود. بنابراین با افزایش میزان بیودیزل و ذرات نانو به دلیل اکسیژن بیشتر میزان CO<sub>2</sub> خروجی از اگزوز افزایش یافت. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق و یافته های محققان دیگر، کاربرد بیودیزل به عنوان سوخت زیستی و نانوذره ی اکسید سریم به صورت ترکیبی با گازوئیل تا حد زیادی می تواند سبب بهبود عملکرد موتور و کاهش آلاینده های موتور شود.

### مراجع

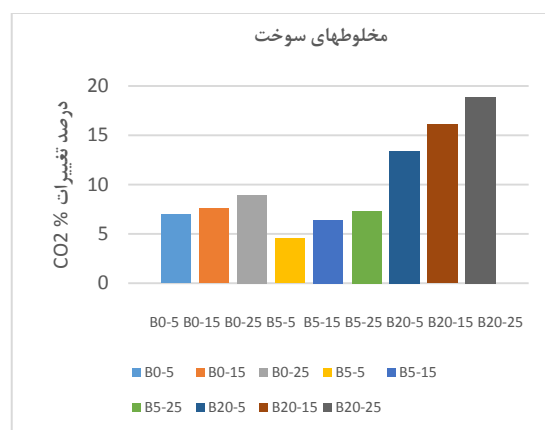
- [1] غفوری، م. (۱۳۸۹). بررسی تأثیرات ذرات نانو بر عملکرد سوخت زیستی بر مبنای روغن کلزای غیرخوراکی در موتور. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد تاکستان.
- [2] S.Escribano, F.Lopez, G. Amores, H. Martinez, P.Panizza, R. Buscac, study of a ceriazirconia-supported manganese oxide catalyst for combustion of diesel soot particles, A characteristic of Diesel engine. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), (2008).
- [3] S.Karthikeyan, A. Elango, S.M.Silaimani, A. Prathima, Role of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano additive in GSOBiodiesel on the working characteristics of a CI engine, Indian Journal of Chemical Technology Vol. 21, , pp. 285-289, (2014).
- [4] S. Karthikeyan, A. Prathima, A. Elango, K. Sabariswaran, Environment Effect of CeO<sub>2</sub> nano additive on performance and emission reduction in a COME operated CI marine engine, Indian



شکل ۱۰: درصد تغییرات اکسیدهای نیتروژن موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

### ۳-۳-۴ دی اکسیدکربن (CO<sub>2</sub>)

همان گونه که از شکل (۱۱) قابل مشاهده است، میزان CO<sub>2</sub> با استفاده از مخلوط های سوخت دیزل- بیودیزل و ذرات نانو نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش یافته است. با توجه به نتایج به دست آمده مخلوط B20D80-25 بیشترین افزایش و مخلوط B5D95-5 کمترین افزایش تولید CO<sub>2</sub> را نسبت به سوخت دیزل خالص داشت. اکسیژن دار بودن مخلوطها نسبت به سوخت دیزل خالص سبب می شود احتراق کامل تری صورت گرفته و در نتیجه مقدار بیشتری از منواکسید کربن که حاصل از احتراق ناقص موتور است، به دی اکسیدکربن تبدیل شود. همان گونه که مشاهده می شود با افزایش میزان بیودیزل و ذرات نانو به دلیل اکسیژن بیشتر میزان CO<sub>2</sub> خروجی از اگزوز افزایش یافته است.



شکل ۱۱: درصد تغییرات دی اکسیدکربن موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر تلفیق سوخت دیزل، بیودیزل و ذرات نانو اکسید سریم بر روی میزان گشتاور موتور، توان موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی و آلاینده های خروجی اگزوز موتور بررسی شد. نتایج حاصل نشان داد با افزایش درصد بیودیزل و میزان نانو در ترکیب به علت افزایش

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), PP. 1114–1120 (2018).

[7] زنوزی، ع. (۱۳۸۶). ارزیابی عملکرد تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت دیزل و بیودیزل". پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.

[8] Technical Data Sheet Shell Omalla S2 G220, Accessed on 12 February 2013; [www.epc.shell.com](http://www.epc.shell.com).

Journal of Geo-Marine Sciences Vol. 45(1), pp. 167-172 (2016).

[5] D.K. Ramesh, J.L. Dhananjaya Kumar, S.G. Hemanth Kumar, V. Namith, B.J. Parashuram, S. Sharath, Study on effects of Alumina nanoparticles as additive with Poultry litter biodiesel on Performance, Combustion and Emission, ELSEVIER, Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), PP. 1114–1120 (2018).

[6] R. Sathyamoorthi, M. Puviyarasan, B. Bhuvanesh kumar, D. Breslin Joshua, EFFECT OF CeO2 NANO ADDITIVE ON Emission, ELSEVIER,